



专题：智能体通信与网络技术

面向网络运维的智能体体系构建

刘旭东, 陈贞贞, 刘柳, 侯韶宗, 雷琳琳, 钟浩成

(中国移动通信集团广东有限公司, 广东 广州 510510)

摘要: 5G 规模部署与行业数字化转型推动网络运维向群体智能演进。针对当前人工智能 (AI) 应用碎片化导致的数据孤岛、能力割裂及跨域协同难题, 制约自智网络迈向 L4 高阶阶段, 提出面向运维场景的三层智能体体系架构 (智能体能力层-运营管理层-安全防护层)。通过分层解耦与多智能体协同机制创新, 构建了“成熟度-通用性”双维度评价体系及全生命周期安全防护框架, 实现运维模式从单点智能到群体智能的跨越。该架构的设计、技术路径与安全运营方法, 为通信行业加速实现 L4 自智网络提供了实践范式。

关键词: 自智网络; 网络运维; 多智能体协同

中图分类号: TN915

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.DXKX250719

Establishing an intelligent agent system for network operations and maintenance

Liu Xudong, Chen Zhenzhen, Liu Liu, Hou Shaozong, Lei Linlin, Zhong Haocheng

China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Guangzhou 510510, China

Abstract: The large-scale deployment of 5G and industrial digital transformation are driving network operations and maintenance (O&M) toward collective intelligence. The fragmentation of AI applications has resulted in data silos, capability fragmentation, and cross-domain coordination challenges, hindering the advancement of autonomous intelligent networks toward level 4 (highly autonomous). A three-layer agent architecture for O&M of autonomous networks was proposed: the agent capability layer, the operations management layer, and the security protection layer. Through innovative layered decoupling and multi-agent collaborative mechanisms, a dual-dimensional evaluation framework (maturity-generality) and a full-lifecycle security protection system were constructed, enabling the evolution of O&M paradigms from single-point to collective intelligence. A practical paradigm was provided by the proposed architecture, technical pathways, and security operation methodologies for the communications industry to accelerate progress toward L4 autonomous intelligent networks.

Key words: autonomous intelligent network, network operations and maintenance, multi-agent coordination

收稿日期: 2025-12-11; 修回日期: 2026-01-22

通信作者: 陈贞贞, 13802883317@139.com

0 引言

随着数字经济的发展, 自智网络成为支撑社会运转的“数字神经中枢”。在战略、业务、技术三方面因素的影响下, 正加速向自智网络四级(level 4, L4)高阶目标发展^[1]。战略上, 自智网络不只是数字经济的核心基础设施, 还是企业数智化转型的关键实施路径^[2]。通过实现L4高阶自智目标, 自智网络与经济社会转型深度耦合, 推动行业从传统“管道服务”向“数字生态运营”转变^[3]。业务上, 用户需求从传统“可用”变成“零瑕疵”体验, 自智网络不再是静态的基础设施, 而是能不断学习进化、直接给业务创新和体验升级提供动力的智能发动机。技术上, 人工智能(artificial intelligence, AI)和网络技术深度融合, 让网络必须具备端到端的感知-分析-决策闭环能力^[4], 支撑5G发展到6G、物联网/工业互联网复杂场景里百万级终端连接、异构业务调度等挑战, 运营效率方面要求网络运维从“工匠模式”向“数字运营”转型。

智能体是自智网络的核心能力载体, 在网络运维中通过“数字员工”把智能体和运维具体业务结合^[5-6], 助力运营商完成数智化转型。现有单点智能运维方案受限于数据孤岛与能力碎片化, 难以突破跨域协同瓶颈, 制约网络向L4自智演进。构建以多智能体协同为核心的群体智能体系, 通过分层解耦架构实现能力聚合与自主协同, 是突破运维智能化瓶颈、达成L4高阶自治目标的必由之路。

本文以建设面向网络运维的智能体体系为研究目标, 提出“分层解耦、协同联动”的端到端自智运维体系架构, 并详细说明了智能体体系构建思路、技术架构、集成方案, 给出了科学的智能体评价标准和规范的运营业务体系, 依照安全规范健全生命周期安全防护体系, 为智能体大规模落地提供足够保障。从而帮助网络运维从“单

点智能”向“群体智能”演进, 逐渐让运维体系升级成“自主决策中枢”, 推动网络运维沿“工具化-自动化-智能化-自智化”的路径发展^[7]。

1 网络运维智能体体系总体构建思路

面向网络运维的智能体体系分为智能体能力层、运营管理层、安全防护层3层。智能体能力层集合多模态交互、意图识别、智能决策、流程编排这些基本能力, 有100多个原子化AI组件和20多个通用算法模板, 能支持业务售中支撑、故障监控处理、动网变更、网络投诉、资源管理、网络配置等30类典型运维场景的智能化处理。运营管理层构建评价机制、运营体系, 做到智能体从开发、部署到迭代的全流程管理。安全防护层搭建数据传输加密、模型安全审计、异常行为监控这些智能体安全防御体系, 给智能体应用全链路安全保障。网络运维智能体体系总体构建思路如图1所示。

(1) 智能体能力层

智能体能力层由智能体集群应用及知识工程底座两部分组成, 其中智能体集群包括超级智能体、专业领域智能体、地市个性智能体3类智能体^[8]。超级智能体是智能体集群的大脑, 处理跨场景、跨专业的战略级决策。专业领域智能体涉及无线、传输、核心网等专业领域, 打造网元内生智能、智能操作维护中心(operation and maintenance center, OMC)、智能能力中台、智能应用系统4个层次智能化能力, 在各自专业领域完成“单域自智、跨域协同”^[9]的落地工作。地市个性智能体按照地市业务个性化需求部署对应的智能化应用。知识工程底座构建网络运维领域的专业动态知识库, 作为智能体的认知基础设施, 拓展智能体的认知能力范围, 补齐通用大模型的行业知识鸿沟^[10]。

(2) 运营管理层

运营管理层主要负责智能体评价机制和运营

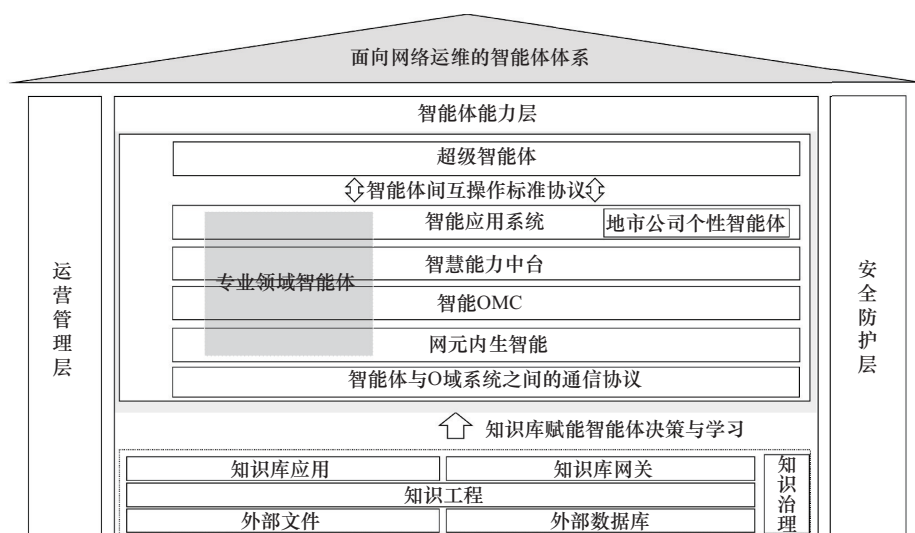


图1 网络运维智能体体系总体构建思路

体系的建立。智能体评价机制根据智能体的自主决策、环境适应性、持续学习能力划分5级成熟度阶梯，按照智能体应用场景范围设计单场景单专业、单场景跨专业、跨场景跨专业3级通用性标签。通过构建“成熟度-通用性”双轴评价矩阵，实现智能体能力的科学评估与分级管理，给智能体的版本迭代与选型部署提供量化依据。通过建立系统化、标准化、可扩展的运营体系，把智能体运营调度中心当作全网智能体统一的资源管理、能力汇聚、调度协同与效能评估中枢，实现全域公共资源与智能体的集中管控与高效运营，有效支撑智能体规模化部署与深度应用。

(3) 安全防护层

从AI应用终端安全、智能体应用安全、开发平台安全、大模型本体安全、模型训练平台安全、智算基础设施安全6个方面，建立覆盖AI全生命周期的纵深安全防护体系。坚持纵深防御、全生命周期管理、内外兼修、闭环防护的核心理念，采用多层防护技术，实现智能体自身能力增强、终端安全防护、平台安全防护、整体基础环境安全管控，支撑智能体在高安全等级网络场景中的大规模应用。

2 网络运维智能体建设方案

2.1 网络运维智能体技术架构

网络运维智能体技术架构从多源异构数据融合、动态任务编排、低代码工具链、高可用性、安全合规等核心需求出发，基础层、能力层、服务层采用分层解耦设计，实现从用户意图到自动执行的闭环流程。网络运维智能体技术架构为智能体应用提供技术底座。网络运维智能体技术架构如图2所示。

(1) 服务层是智能体与用户及业务系统交互与协同的入口。服务路由负责精准分发多渠道请求，流程编排把多步骤任务拆解成多个单任务，并按步骤依次自动执行任务。工具协同对接外部运维系统、机器人流程自动化（robotic process automation, RPA）工具等实现能力互补，多智能体协同解决多个智能体协同问题，数字人生成提供拟人化用户交互。通过多功能模块的协同工作，完成用户意图解读和任务自动处理。

(2) 能力层负责智能决策和流程编排，是整个智能体架构中的关键组成部分。智能体核心软件开发工具包（software development kit, SDK）

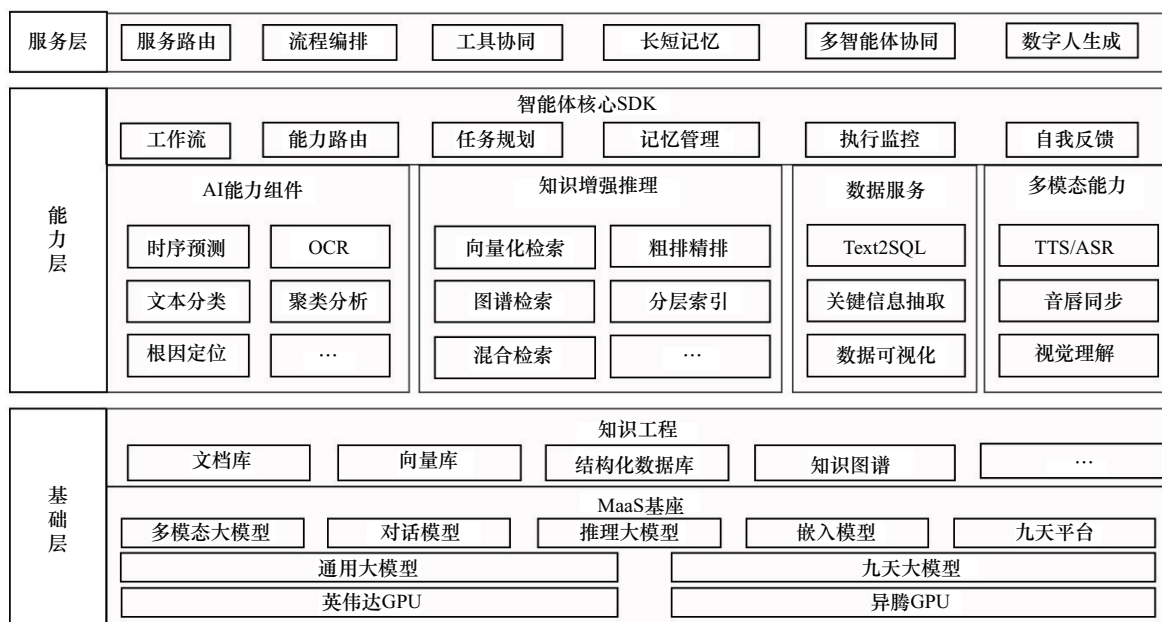


图2 网络运维智能体技术架构

的核心功能是完成任务的自主编排与持续进化，包含工作流、能力路由、任务规划、记忆管理等组件。AI能力组件主要作用于对多种运维场景的算法工具进行集成，例如时序预测、光学字符识别（optical character recognition, OCR）、根因定位等。知识增强推理使用向量化检索、图谱检索这类方法让决策更可靠。数据服务使用文本到结构化查询语言（text to structured query language, Text2SQL）、数据可视化能力，实现数据结构化处理和呈现。另外，还结合文本转语音（text-to-speech, TTS）/自动语音识别（automatic speech recognition, ASR）、视觉理解这些实现多模态的交互能力，这样就形成了任务拆解、知识增强、数据处理和多模态交互的闭环。

（3）基础层的知识和算力是智能体运行的双底座，其中知识是本源，算力是基石。知识工程整理管理运维方面的各种知识，例如运维经验、网络拓扑、故障案例，用文档库、向量库、知识图谱这些方式存储，模型即服务（model as a service, MaaS）基座对接多模态大模型、国产和通

用算力、九天平台，提供模型推理、算力调度、云边协同能力，两部分一起给智能体提供计算、存储、网络、数据、模型这些资源，让智能体能够根据不同应用场景支持各种弹性扩展和灵活调度，满足大模型训练和实时推理的需求。

2.2 智能体技术及组件标准化

为解决目前智能体技术碎片化问题，降低集成和运维成本，需要建立统一技术架构和选型标准。一方面是明确“基础层-能力层-服务层”的分层技术框架和每个层级的推荐组件，让技术选型标准统一规范；另一方面是根据统一架构制定不同智能体之间的协同协议和标准，保证不同智能体之间的数据能互相访问、任务能协同调度、能力能互相调用。选型标准指导智能体建设，技术体系逐步从分散化变成统一协同，推动智能体大规模部署和高效运维。智能体技术及组件演进架构如图3所示。

2.3 智能体协同集成方案

为完成面向复杂网络运维的智能决策及协同，按照分级与多智能体协同^[11-12]的思路，构建

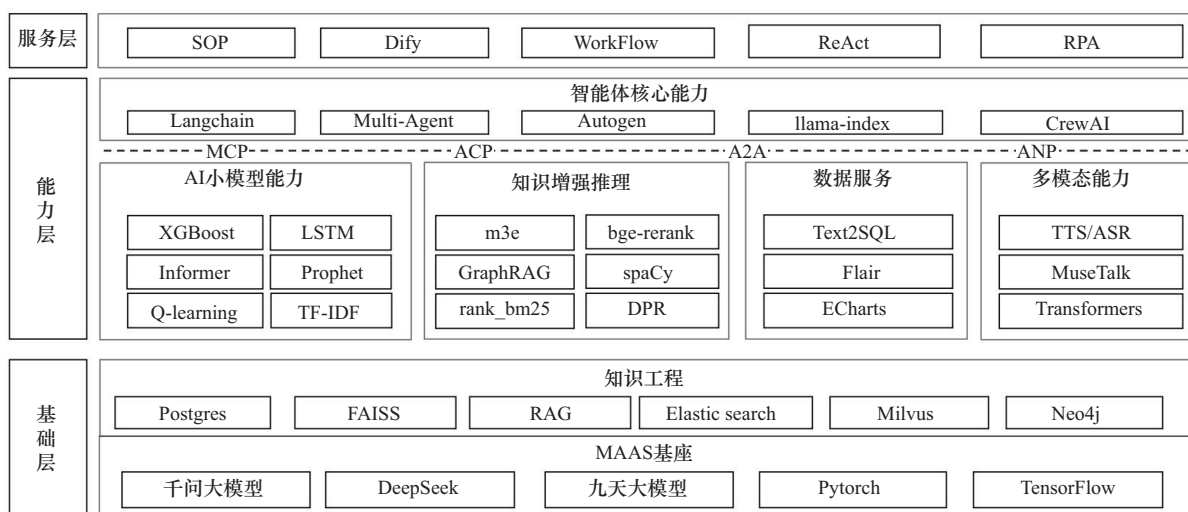


图3 智能体技术及组件演进架构

分层协同机制，自上而下构建了“超级智能体-综合智能体-单域智能体”的多智能体协同架构，明确了三者间协同流程和数据交互的逻辑。

(1) 超级智能体位于最顶层，负责跨场景跨专业的战略决策，调度全网资源及任务，收集全网运维需求并进行任务拆解，下发指令给对应的综合智能体。

(2) 综合智能体接收超级智能体下发的任务命令，调用多个单域智能体执行任务操作，例如业务开通智能体、故障管控智能体、动网管控智能体。

(3) 单域智能体专注于特定领域，向综合智能体反馈执行结果，综合智能体上报超级智能体，进行汇总校验，形成闭环，例如资源推荐智

能体、故障处理智能体。

针对业务支撑、故障监控处理和动网变更3个场景的智能体协同集成如图4所示。

3 智能体运营

3.1 智能体评价机制

智能体是网络智能化转型升级的关键部分，是提升整体智能化水平的根本点，有必要对其技术水平、应用水平等关键指标情况进行科学量化评估，结合网络运维方面实践探索和参考工业界优秀实践情况^[13]，建立“成熟度-通用性”双轴评价体系，制定行业智能体成熟度评估标准，为接下来不同领域的推广应用奠定基础。智能体能力成熟度模型如图5所示。

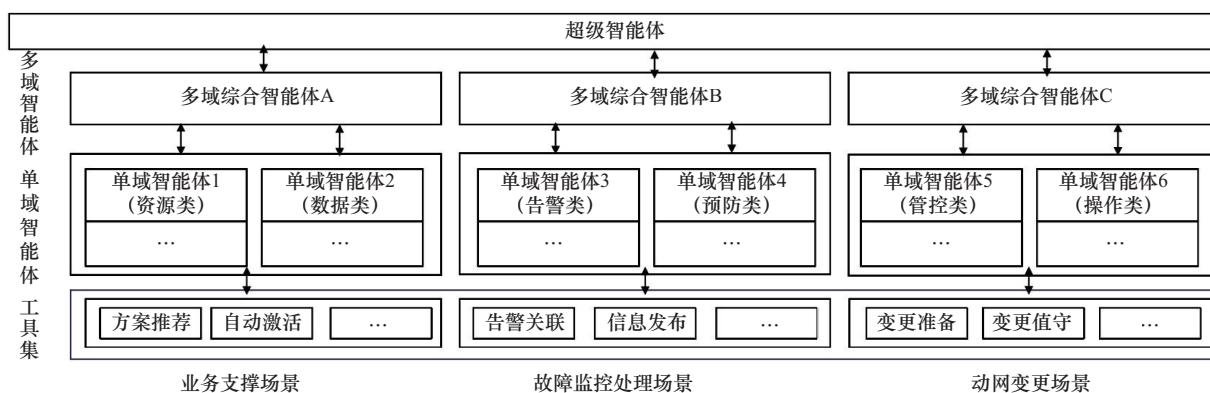


图4 智能体协同集成

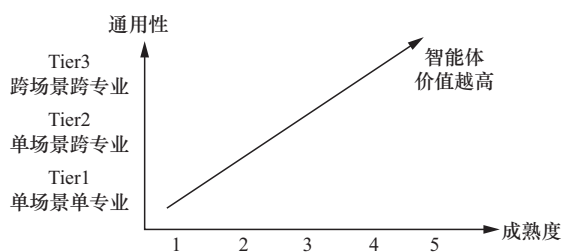


图5 智能体能力成熟度模型

（1）通用性评价

单场景单专业（Tier1）：智能体专注于具体的场景，例如故障告警处理、动网变更、局数据配置、网络拨测等，同时只涉及一个具体专业，有明确的任务边界、输入和输出逻辑，任务集中。以传输网的“光缆中断自动定位”智能体举例，智能体通过拓扑信息和性能指标判断具体断点，专用于传输网光缆断点定位处理，智能体无法用在复杂的、混杂的复合型故障场景，也不支持跨专业协同。

单场景跨专业（Tier2）：针对单个场景，智能体把多个专业信息和流程进行整合，形成“一个场景里多个专业联动”的完整处理流程。以“动网变更全流程管控”智能体举例，该智能体只面向动网变更场景，但集成核心网、IP网、传输网、网络云等专业，智能体能够自动完成不同专业的变更操作、变更监控、变更验证及异常处理等任务，打破不同专业之间的协同障碍，能够解

决更复杂的跨专业问题。

跨场景跨专业（Tier3）：智能体对网络运维不同场景不同专业数据或能力进行整合，能处理跨场景跨专业的任务，在不同专业和层级之间作综合的推理和决策，能制定动态任务，调动单专业或单场景智能体解决复杂问题。

（2）成熟度评价

根据自主决策、环境适应性、持续学习能力，沿用“智能水平”这条纵向主线，把智能体能力成熟度分为由低到高的5个等级^[14]，对应从“亚智能”向“通用智能”的逐步演化过程，智能体能力成熟度表征见表1。

3.2 智能体运营体系

建设成有标准、能扩展的智能体运营体系^[15]，依托“智能体运营调度中心”，给智能体作运营调度管理，按需求提供运营管理、运营分析、运维监控、公共能力建设及生命周期管理等全方位智能体服务支撑能力，覆盖“平台-服务-应用”三大类要素，推动智能体由“技术实验”变成“业务资产”。智能体运营体系设计如图6所示。

智能体运营调度中心是整个运营体系的核心，作为全网智能体的统一资源池、能力库、调度场和效益器，负责全域资源和各类智能体的统

表1 智能体能力成熟度表征

能力成熟度	名称	核心特征	基于的AI技术
1	亚智能体	▶ 基于预置规则（脚本/工作流） ▶ 无动态决策能力 ▶ 需人工处理异常或触发	无AI模型
2	原子型智能体	▶ 使用小模型（如SVM、决策树） ▶ 有限自适应能力	轻量ML模型
3	场景型智能体	▶ 大模型驱动核心决策 ▶ 基础异常自愈能力	大模型（LLM/多模态）
4	领域型智能体	▶ 大模型+长期记忆 ▶ 自适应环境变化与未知异常	大模型+知识库/向量数据库
5	通用型智能体	▶ 多模型协作+自我进化 ▶ 创造性决策与战略规划	大模型+强化学习/联邦学习

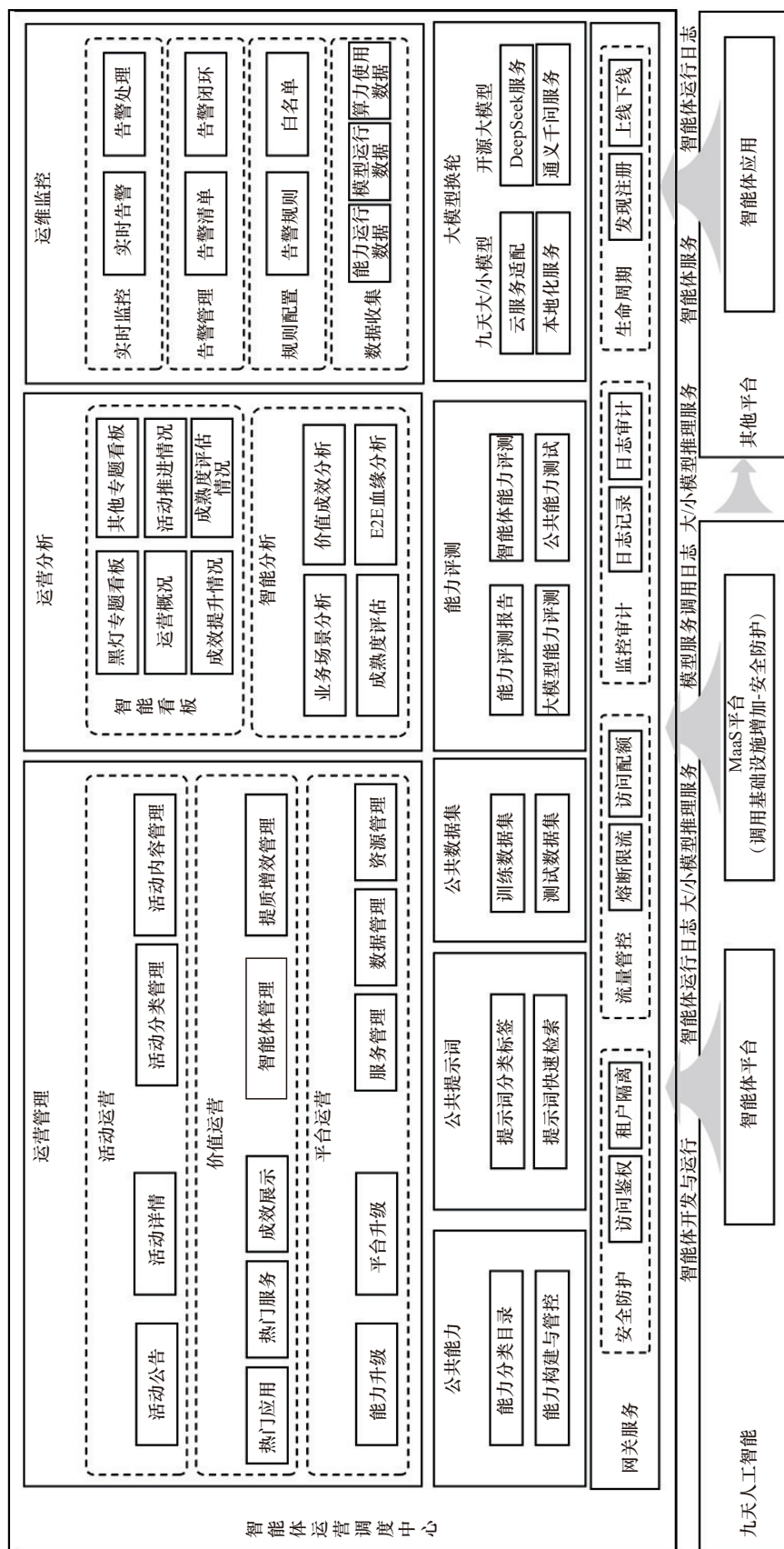


图6 智能体运营体系设计

筹、调度、协调与控制，实现统一资源配置和高效运营的目的，为层级提供差异化服务能力。

(1) 底层支撑层：为大模型提供服务能力、模型调用的基础设施、安全保障。

(2) 中台能力层：集成公共能力、公共提示词、公共数据集、大模型换轮及网关服务等核心部分。

(3) 上层应用层：给开发人员、运维人员和管理人员提供运营管理和分析的工具，全方位管理智能体生命周期。

4 智能体安全防护

在网络运维领域应用智能体，也意味着智能体将深度嵌入网络原有的核心运维系统（如各专业的运维工作台、网管维护系统等），在应用过程中智能体可能接入网络或用户的敏感数据，一旦被攻击者利用或智能体自身存在安全缺陷，轻则导致网络问题的误判（如误判网络故障、定位错误等），重则导致敏感数据泄露或网络异常。因此智能体安全防护能力是自智网络发展的根本。

4.1 安全防护体系

智能体安全防护体系整体包括 AI 应用终端安全、智能体应用安全、开发平台安全、大模型内容安全、模型训练平台安全及智算基础设施安全

六大领域，有检测防御外部威胁的能力，还支持内部风险评估与管理，提供从智能体运营环境到生命周期的全流程安全保障。智能体安全防护体系如图 7 所示。

(1) AI 应用终端安全：用于智能体应用终端的安全防护，提供主机的安全防护、异常行为的监测、应用权限的精细化管理、AI 应用行为的合规性审计等能力。

(2) 智能体应用安全：智能体应用自身功能和交互逻辑的安全防护，减少或预防应用自身缺陷带来的安全问题。

(3) 智能体应用开发平台安全：对智能体应用的开发环境、编码规范、开发组件等进行安全防护设计，解决开发环境、代码层面的安全缺陷，保证智能体开发平台有安全基础，从源头解决安全隐患。

(4) 大模型内容安全：内置大模型内容安全引擎，在输入阶段对提示词进行检测，检测内容包括违法和不良信息过滤、恶意代码识别、隐私信息拦截等，发现异常能够对会话进行阻断；在输出阶段检测模型生成内容，确保输出内容安全合规，及时阻断非法内容输出。大模型内容安全防护如图 8 所示。

(5) 模型训练平台安全：建立周期性的模型

AI应用终端安全	主机安全 异常行为监测	AI应用资产识别 恶意回复识别与拦截	应用权限管理 上传数据监控	AI应用行为审计 机密信息防泄露
智能体应用安全	交互设计：数据加密、完整性校验 对抗防护：对抗样本攻击识别防范		策略管理：数据使用规范、合规保障 审计监测：操作行为审计、实时监测	
智能体应用开发平台安全	开发环境：隔离保护、代码仓库安全 测试修复：静态分析、动态安全测试		编码规范：安全编码标准、培训 供应链：第三方组件安全评估	
大模型内容安全	RAG语料管理 违法信息过滤	提示词注入防护 消息撤回	输入内容防护 模型滥用检测	输出内容防护 模型盗窃检测
模型训推平台安全	模型拒绝服务 模型漏洞加固		模型漏洞检测 模型API安全	
智算基础设施安全	物理安全：门禁控制、视频监控、防火防盗 硬件安全：定期维护、硬件漏洞检测		网络安全：防火墙、入侵检测与防范系统 电力安全：不间断电源、备用发电机	

图 7 智能体安全防护体系

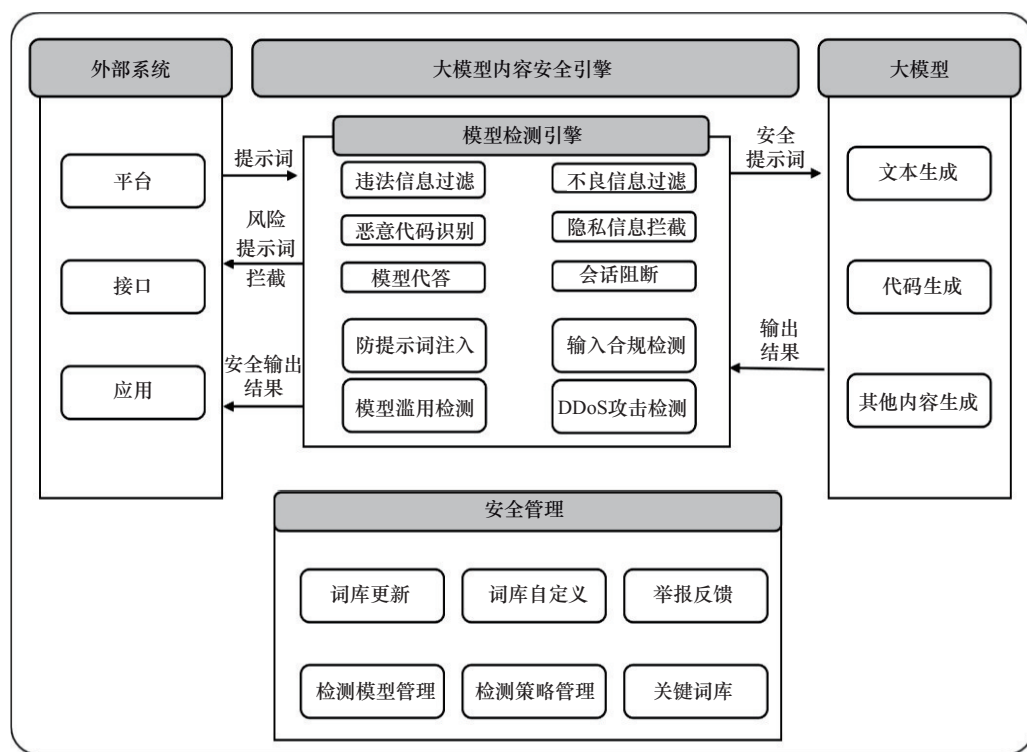


图8 大模型内容安全防护

漏洞检测和加固机制，增加应用程序接口（application program interface, API）访问控制、API调用审计和阻断手段，提高模型训练平台的安全。

（6）智算基础设施安全：围绕机房安全、网络安全、硬件安全和电力安全等智能体基础设施进行安全设计，提供底层算力设施保障。

4.2 安全防护关键指标

智能体安全防护是一个不断改进完善的过程，为了更好地评估和管理安全防护的状态，建立安全防护关键指标，通过关键指标评价防护的成效，对关键指标持续监测、分析、定期复盘，持续改进提升安全防护能力，实现安全防护的闭环管理。安全防护关键指标见表2。

5 网络运维场景应用案例

5.1 智能网关

智能网关是基于微服务和网管能力共享平台，集成模型上下文协议（MCP）能力封装、注

册、审批、网关路由等功能，能实现智能体工具统一管控和能力共享。核心目标是降低智能体工具适配开发成本，推动智能体快速落地和规模化应用。

智能网关如图9所示，包括门户管理、网关管理、能力管控、运维管理、运营管理、服务管理、系统管理7个核心模块的功能体系，实现MCP服务全生命周期的标准化管理。MCP专用通道和协议适配能力让智能网关能把不同智能体和运营支撑系统（operation support system, OSS）数据域即O域、外部工具无缝连接。智能网关提供O域全景视图、综合运营视图、能力提供方和订阅方视图等多维度的可视化监控功能，支持MCP运营指标分析、调用链监控、日志管理等运维操作，保障智能体服务稳定运行。智能网关已经给44个上线智能体提供统一能力支撑，标准化的接口和管控机制让智能体工具适配周期平均缩短60%以上，支撑智能体规模化部署和跨系统协同。

表2 安全防护关键指标

序号	指标名称	目标值	监测频率	说明
1	恶意输入拦截率	≥99%	实时/每日	有效识别并阻断恶意 Prompt 等攻击的防护能力
2	对抗样本识别准确率	≥95%	每周	评估对抗样本识别准确情况
3	API 异常调用阻断率	≥98%	实时	防止未授权或高频恶意调用
4	敏感信息泄露事件数	0	实时告警月度统计	包括客户信息、配置参数、账号密码等
5	输出内容脱敏覆盖率	100%	每月抽查	所有涉及敏感字段的输出必须自动脱敏
6	高危漏洞修复周期	≤72 h	实时跟踪	从漏洞确认到修复上线的时间
7	第三方组件漏洞扫描覆盖率	100%	每季度	覆盖所有引入的开源库和依赖包
8	智能体 API 调用成功率	≥99.9%	实时监控	反映服务稳定性与可用性
9	平均故障恢复时间	≤30 min	每月统计	发生安全相关故障后的平均响应与恢复时间
10	安全审计日志留存时长	≥180 天	季度检查	满足合规要求
11	操作行为可追溯率	100%	月度核查	所有智能体关键操作需记录完整上下文
12	安全编码规范符合率	≥95%	迭代周期	基于 OWASP Top 10 等标准进行评估
13	沙箱环境使用率	100%	持续监测	所有新智能体必须在隔离环境中开发测试
14	智算基础设施可用率	≥99.99%	实时	包括供电、制冷、网络连通性等
15	安全培训覆盖率	100%	每半年	对全部参与智能体开发及运维的人员进行安全防护培训

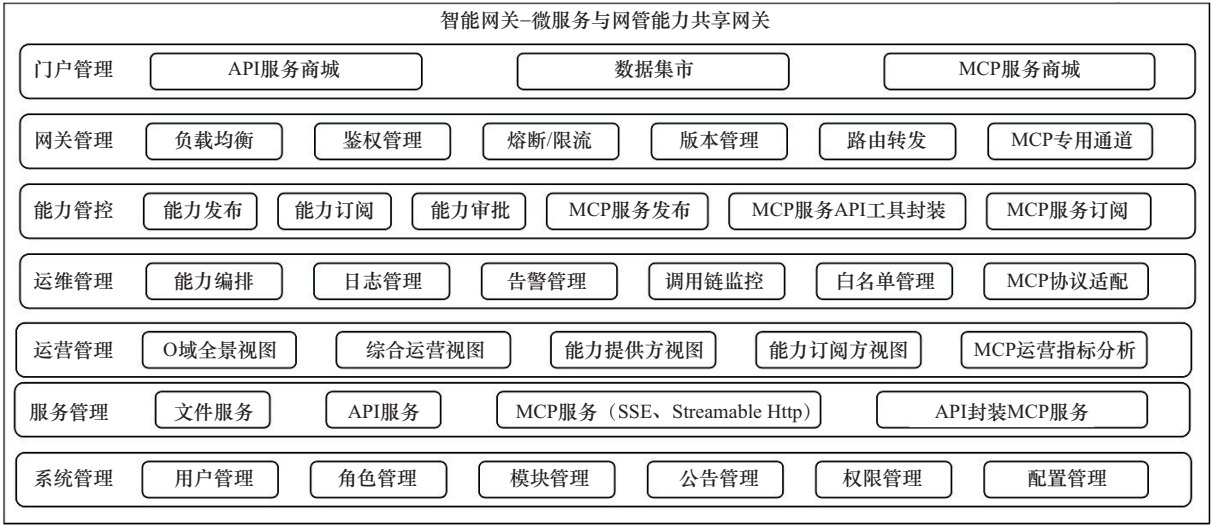


图9 智能网关

5.2 网络百事通智能体协同平台

“网络百事通”是多智能体协同中枢平台，面向网络运维智能体体系是平台搭建的理论基础，目标是重构网络运维领域的生产范式。深度结合大模型技术和智能体编排引擎，搭出有超意图识别、智能编排、辅助决策能力的分层协同智能体集群，无缝连接网管支撑系统里各类数智应用，给网络运维管理提供一站式、智能化的综

合解决方案。

网络百事通智能体协同平台如图10所示，支持Web界面、移动端应用程序（App）和5G消息等多种操作入口，让运维人员随时随处都能操作。主要功能分成管理助手、工单管理、运维支撑、业务支撑、网管百科这5类。平台分为控制层、智能体编排层、基础支撑层3层结构。控制层有会话记忆、智能体路由、工具调用等核心能

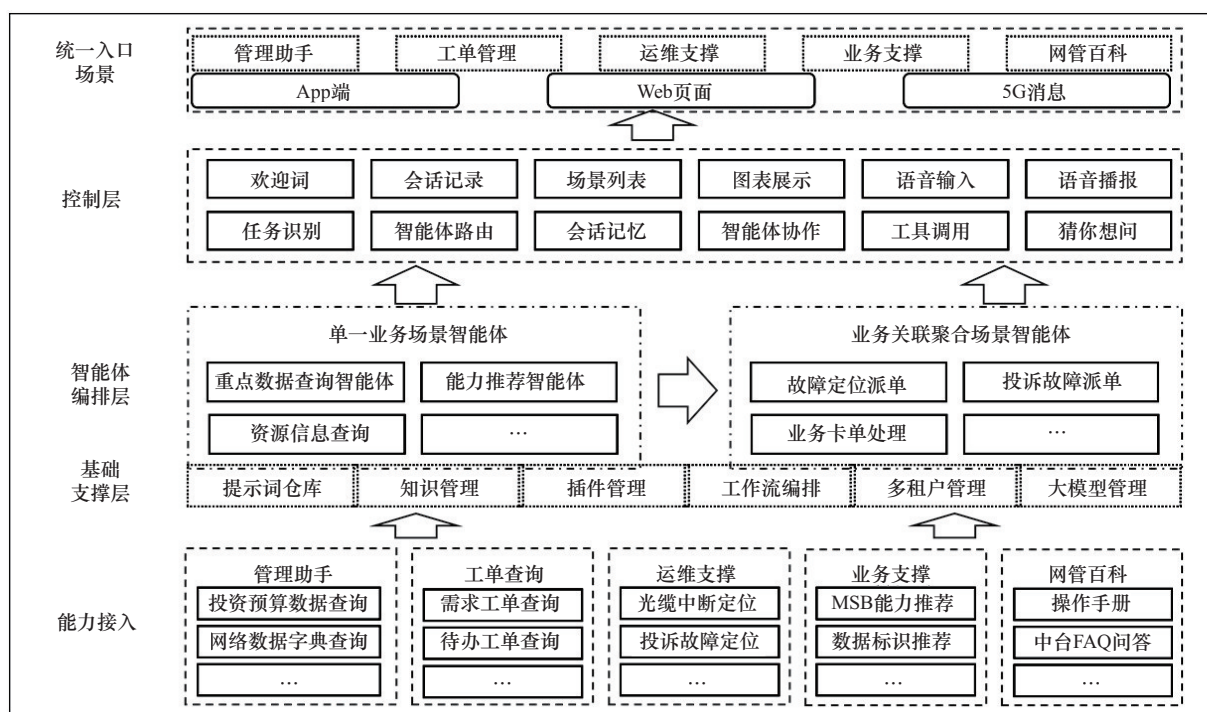


图10 网络百事通智能体协同平台

力，做到准确识别用户想法和分配任务。智能体编排层把业务关联聚合场景智能体和单一业务场景智能体合在一起，用提示词仓库、 workflow编排等工具做到多个智能体协同工作。基础支撑层提供知识管理、插件管理、多租户管理、大模型管理等保障能力，确保平台能扩展和安全。

目前该平台已在全省试点。运维部门、业务支撑部门、管理决策层等8类岗位1500多人参与使用，其中一线运维人员占65%、管理及决策人员占20%、业务支撑及新入职员工占15%。实验数据显示，跨系统业务处理时间从18.6 min缩短到1.2 min，单一业务响应时间是4.8 s，人工介入比例从92%降到17%。其中故障投诉典型场景中，跨专业投诉故障定界只需要1.8 min，比传统方式效率提高92.8%。平台将逐步实现运维从“靠分散经验驱动”向“靠集中智能驱动”转变，现在已经在全省大规模使用，后续计划向集团推广，为通信行业自智网络L4目标落地提供可复制范例。

6 结束语

面向网络运维的智能体体系构建，是自智网络发展过程中的重要战略支撑，是通信行业从“网络可管”发展到“网络智治”的必由之路，提出的“超级智能体+专业领域智能体+地市个性智能体”分层协同架构，在技术上实现从单点智能到群体智能的跃迁，场景、流程、数据、安全等多维度完成传统运维范式的系统性重构，为L4自智网络目标提供可复制、可推广方案，为重构网络运维生产方式提供创新路径。

随着持续扩大的技术栈和异构生态，如何让系统架构保持开放性；怎么在模型规模、推理成本和实时性之间找到动态平衡，让“大模型能力”和“边缘轻量部署”^[16]一起达到最好效果；在人机协同走向人机共治的过程中，建立可追溯、可审计、可纠偏的管理办法，确保智能系统一直为人类价值服务。以上3个方面，仍然是需要继续探讨研究的方向。

下一步将重点推进“智能体即服务（agent as a service, AaaS）”理念，打造网络运维智能体开源社区，开放接口标准、提示词模板和评测数据集，集合产学研各方力量加快行业共通能力积累，研究价值对齐的强化学习机制，把服务等级协议（service level agreement, SLA）、能效、碳排、用户体验等多个目标放进奖励函数，实现智能体决策和网络全域最优动态匹配，探索“数字孪生+智能体”的闭环仿真环境。

参考文献：

- [1] 李长空. 智能创未来引领“新京彩”北京移动数智转型及自智网络能力提升实践[J]. 通信世界, 2025(2): 16-17.
Li C K. Creating the future with intelligence, leading the "new Beijing color" Beijing mobile's digital intelligence transformation and self-intelligence network capability improvement practice[J]. Communications World, 2025(2): 16-17.
- [2] Lian J C, Zhang C L, Yu D. Robust disentangled variational speech representation learning for zero-shot voice conversion[C]//Proceedings of the ICASSP 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Piscataway: IEEE Press, 2022: 6572-6576.
- [3] 徐东兵. 自智网络 L4 征程开启多省先发打造标杆案例[J]. 通信世界, 2025(2): 24-25.
Xu D B. Self-intelligent network L4 journey opens a multi-provincial first-mover benchmarking case[J]. Communications World, 2025(2): 24-25.
- [4] 刘庆华. 软件工程赋能通信技术: 未来通信网络架构的创新与演进[J]. 中国宽带, 2025, 21(8): 1-3.
Liu Q H. Software engineering enabling communication technology: innovation and evolution of future communication network architecture[J]. China BroadBand, 2025, 21(8): 1-3.
- [5] 李心玥, 徐佳琦, 邱丽媛, 等. 数字员工在智能运维领域的应用探索与实践[J]. 中国金融电脑, 2023(9): 70-72.
Li X Y, Xu J Q, Qiu L Y, et al. Application and practice of digital employees in the field of intelligent operation and maintenance[J]. Financial Computer of China, 2023(9): 70-72.
- [6] 王健, 张明, 李华. 智能体技术在 5G 网络运维中的应用研究[J]. 通信学报, 2023, 44(5): 120-128.
Wang J, Zhang M, Li H. Application research on agent technology in 5G network operation and maintenance[J]. Journal of Communications, 2023, 44(5): 120-128.
- [7] 尹浩, 任保全, 钟旭东. 基于网络认知的智能信息网络发展构想[J]. 陆军工程大学学报, 2025, 4(1): 1-9.
Yin H, Ren B Q, Zhong X D. Vision for development of intelligent information networks based on network cognition[J]. Journal of Army Engineering University of PLA, 2025, 4(1): 1-9.
- [8] Zhao J, Yang M Y, Zhao Y P, et al. MCMARL: parameterizing value function via mixture of categorical distributions for multi-agent reinforcement learning[J]. IEEE Transactions on Games, 2024, 16(3): 556-565.
- [9] 杜威, 丁世飞. 多智能体强化学习综述[J]. 计算机科学, 2019, 46(8): 1-8.
Du W, Ding S F. Overview on multi-agent reinforcement learning[J]. Computer Science, 2019, 46(8): 1-8.
- [10] 刘芳, 陈刚, 赵伟. 面向网络运维的动态知识库构建方法[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(2): 458-463.
Liu F, Chen G, Zhao W. Method for constructing dynamic knowledge base for network operation and maintenance[J]. Journal of Computer Application Research, 2024, 41(2): 458-463.
- [11] 刘妍蕾, 李勇, 韩俊飞, 等. 基于多 Agent 模型的网络协同探测系统[J]. 沈阳工业大学学报, 2025, 47(2): 265-272.
Liu Y L, Li Y, Han J F, et al. Network cooperative detection system based on multi-agent model[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2025, 47(2): 265-272.
- [12] Zhang Y, Li Z, Wang H. Multi-agent coordination mechanism for autonomous network operation and maintenance[C]//Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Communications (ICC). Piscataway: IEEE Press, 2023: 4567-4572.
- [13] 中国信息通信研究院. 智能体技术要求与评估方法[R]. 2024. China Academy of Information and Communications Technology. Technical requirements and evaluation methods for intelligent agents[R]. 2024.
- [14] Chen X, Liu Y, Zhang M. Large language models for network operation and maintenance: applications and challenges[J]. IEEE Network, 2024, 38(1): 56-63.
- [15] 赵静, 孙明, 周强. 自智网络中智能体运营体系构建与实践[J]. 电信科学, 2023, 29(6): 78-85.
Zhao J, Sun M, Zhou Q. Construction and practice of agent operation system in autonomous network[J]. Telecommunications Science, 2023, 29(6): 78-85.
- [16] Wang L, Zhang Q, Li S. Lightweight large model deployment for edge network operation and maintenance[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2024, 12(5): 12345-12352.



[作者简介]



刘旭东（1982-），男，中国移动通信集团广东有限公司高级工程师，主要研究方向为自智网络高阶演进、网络智能化规划与部署等。



侯韶宗（1974-），男，中国移动通信集团广东有限公司工程师，主要研究方向为自智网络高阶演进、网络运维智能体建设及落地实践等。



陈贞贞（1990-），女，中国移动通信集团广东有限公司工程师，主要研究方向为自智网络高阶演进、网络运维智能体技术等。



雷琳琳（1990-），女，中国移动通信集团广东有限公司工程师，主要研究方向为自智网络高阶演进、网络运维场景端到端流程智能优化等。



刘柳（1987-），女，中国移动通信集团广东有限公司工程师，主要研究方向为自智网络高阶演进、网络运维智能体建设及落地实践等。



钟浩成（1992-），男，中国移动通信集团广东有限公司工程师，主要研究方向为网络运维安全防护体系构建与智能风控等。